

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

## **Bakalářská práce**

**2012**

**Michal Fryz**

# **HB9CV anténa**

## **HB9CV Antenna**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Fryz**  
Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie  
Studijní obor: 2612R059 Mobilní technologie  
Téma: **HB9CV anténa**  
**HB9CV Antenna**

Zásady pro vypracování:

Základem kvalitního příjmu rádiového signálu závisí i na použití vhodného typu vysílací a přijímací antény. Ne vždy je vhodným typem všesměrová nebo úzce směrová anténa. Tato práce si klade za cíl popsat, odsimulovat, navrhnout a vytvořit specifický typ antény. Správnost návrhu je podpořena měřeními vybraných parametrů antény.

1. Popište základní princip funkce HB9CV antény.
2. Vytvořte návrh antény ve vhodném simulačním programu.
3. Realizujte praktický model HB9CV antény na zadaný kmitočet.
4. Ověřte správnost návrhu a konstrukce měření na vytvořeném prototypu.

Seznam doporučené odborné literatury:

BALANIS, Constantine. *Antenna Theory : Analysis and design*. 3rd edition. United States : Wiley, 2005. 1117 s. ISBN 0-471-66782-X.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Dvorský, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

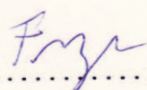
prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 3. května 2012

.....  


Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Marku Dvorskému, Ph.D. za trpělivost, rady a připomínky k obsahu a formě zpracování.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou HB9CV antén. Dopodrobna rozebírá teoretickou stránku funkčnosti HB9CV antény, návrh, stavbu a ověření správnosti HB9CV antény. V teoretické části popisuje, co je to anténa, jak HB9CV anténa funguje, jaké jsou její hlavní výhody a nevýhody. V praktické části popisuje samotný návrh HB9CV antény v zadaném programu spolu s potřebnými výpočty, sestavení modelu na zadaném kmitočtu a je ověřena správnost této sestavené HB9CV antény.

**Klíčová slova:** HB9CV anténa, směrová anténa

## **Abstract**

This thesis deals with HB9CV antennas. It analyzes in detail the theoretical site of the functionality of the HB9CV antenna, as well as construction and verification property of the HB9CV antenna. It shows how the HB9CV antenna works, what its main characteristics and advantages and disadvantages. The practical part describes the plan of the HB9CV antennas in the programme together with necessary calculations, the model constructed for the given frequency and properties are verified by the HB9CV antenna.

**Keywords:** HB9CV antenna, directional antenna

## Seznam použitých zkratk a symbolů

DX	– snaha navazovat spojení na co největší vzdálenost
DV <sup>1</sup>	– Digital Voice (digitální fonie)
DV <sup>2</sup>	– Dlouhé vlny
ELMG	– Elektromagnetické
FTP	– File Transfer Protocol - protokol pro přenos souborů mezi počítači pomocí počítačové sítě
FM	– Frekvenční modulace
ISM	– Industrial, Scientific and Medical - jsou pásma pro rádiové vysílání v oborech průmyslovém, vědeckém a zdravotnickém
KV	– Krátké vlny
MGM	– Machine Generated Modes - strojově generované druhy provozu
SSB	– Modulace s jedním postranním pásmem
SV	– Střední vlny
VF	– Vysokofrekvenční technika
VKV	– Velmi krátké vlny
ZL - speciál	– Plněbuzená dvouprvková anténa

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Anténa</b>	<b>2</b>
2.1	Co je to Anténa . . . . .	2
2.2	Charakteristika antén . . . . .	4
2.3	Elektromagnetické vlny . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Anténa HB9CV</b>	<b>7</b>
3.1	Historie antény . . . . .	7
3.2	Hlavní charakteristické vlastnosti antény . . . . .	7
3.3	Princip směrové antény HB9CV . . . . .	9
3.4	Činnost antény HB9CV . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Popis návrhu antény</b>	<b>13</b>
4.1	Návrh antény . . . . .	13
4.2	Výpočet rozměru antény . . . . .	14
4.3	MMANA - O programu . . . . .	17
4.4	Simulace antény HB9CV . . . . .	17
<b>5</b>	<b>Konstrukce antény</b>	<b>21</b>
5.1	Popis konstrukce . . . . .	21
5.2	Ověření návrhu měřením . . . . .	24
5.3	Vyhodnocení naměřených výsledků . . . . .	26
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Reference</b>	<b>28</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>35</b>



## 1 Úvod

V dnešní době se s anténami setkáváme každý den a na každém kroku. Možná pro někoho nepochopitelný vynález, ale bez něj bychom se nemohli dívat na televizi, poslouchat rádio a používat mobilní telefony. Antény se dělí do mnoha skupin, velikostí a tvarů. V dnešní době se velice rychle množí počet antén pro příjem různých signálů. Technika zabývající se navrhováním antén se stala vpravdě obtížným a speciálním oborem. Tato bakalářská práce je věnována na jeden specifický typ antény a to je anténa HB9CV. Tato dvouprvková anténa má stejný výkon jako dobrá tříprvková nebo průměrná čtyřprvková anténa a proto nabízí své přednosti mnoha amatérům hlavně v pásmech 10/15/20 m.

V druhé části této práce Vám připomenou, jak pracuje anténa, co jsou její charakteristické vlastnosti a rozdělení.

V třetí části Vám popíšu konkrétně anténu HB9CV. Historie antény jak pracuje, charakteristické vlastnosti a rozeberu ji do detailů.

Ve čtvrté části popíšu návrh antény a budu tuto anténu simulovat v zadaném programu. Vypočítám všechny části antény, které pak přenesu do programu. Popíšu program, který jsem použil. Následně ukážu pár obrázků ze simulace a jejich popisy.

V předposlední kapitole se budu věnovat konstrukci antény a odměření správné funkčnosti.

## 2 Anténa

### 2.1 Co je to Anténa

Nejprve bych chtěl ve zkratce připomenout co je to anténa. Anténa je zařízení, které mění elektromagnetické vlny na elektrický signál a elektrický signál na elektromagnetické vlny. Je nezbytnou součástí každého systému radiové komunikace. Ve dvacátém století byly nejvíce populární rozhlasové a televizní antény. V jedenadvacátém století je nezbytnou součástí každého řidiče v dopravních prostředcích, v bezdrátových počítačových sítích nebo pro příjem satelitních televizních signálů. Proto patří anténa k nejdůležitější části rádiového zařízení a nelze ji nahradit žádným jiným elektronickým obvodem. Mezi nejjednodušší antény patří bezpochyby dlouhý vodič, který byl použit jako přijímací anténa prvních rádiových přijímačů sestavena s detektorem, sluchátek a rezonančního obvodu. Můžeme ho popsat takto:

$$L \gg d \quad (2.1)$$

Kde:

$L$  - délka vodiče antény (m)

$d$  - průměr drátu (mm)

Délka antény, kterou můžeme pospat jako množství indukovaného napětí na vysokofrekvenčním vodiči, ovlivňovala sílu signálu vysílací stanice ve sluchátkách.

První antény byly postaveny v roce 1888 německým fyzikem Heinrichem Hertzem, kdy jeho průkopnické experimenty prokázaly existenci elektromagnetických vln. Objasnil a rozšířil teorie, které byly uveřejňovány Jamesem Clerkem Maxwelllem. Byl první, kdo přesvědčivě dokázal existenci elektromagnetických vln podle technických nástrojů, které vysílají a přijímají rádiové impulzy, pomocí experimentálních postupů, které vyloučily všechny ostatní známé bezdrátové jevy. Heinrich Hertz vyvinul bezdrátový komunikační systém, kde v mezeře na dipólu nastaly nucené elektrické jiskry. Použil smyčkovou anténu jako přijímač a pozoroval rušení signálu. Proto také dnes všichni známe jednotku *Hertz*, která byla pojmenována právě po tomto muži. Když Marconi v roce 1896 realizoval své první pokusy, použil přizpůsobenou drátovou anténu na draku. Následně Marconi používal antény, jejichž délka závisela na vlnové délce. Pro první spojení přes Atlantický oceán byl použit čtvrtvlnný monopól.

Antény můžeme rozdělit do mnoha druhů. Můžeme je rozdělit například podle délky vlny jako VKV (velmi krátké vlny), KV (krátké vlny), SV (střední vlny) a  $DV^2$  (dlouhé vlny). Tyto antény poznáme podle toho, že jejich rozměry jsou malé s porovnáním s délkou vln. Toto rozdělení bude popsáno v kapitole níže. Dále je můžeme rozdělit podle

způsobu využití jako například stacionární, mobilní nebo přenosné antény. Drátové, prutové a trojrozměrné antény se zase liší konstrukcí. Podle charakteristiky vyzařování na všesměrové a směrové.

Další rozdělení antén je podle pásma jejich pracovního kmitočtu. Délka antény musí být příslušným násobkem vlnové délky, která je nepřímo úměrná ke kmitočtu:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.2)$$

kde jsou:

$\lambda$  - vlnová délka [m]

$c$  - světelná rychlost ( $3 \times 10^8$  m/s)

$f$  - kmitočet [Hz] ([1/s])

Elektrické pole (vytvořené rozloženou kapacitou) a magnetické pole (vytvořené rozloženou indukčností antény) přesahují hranice obvodu a vytváří elektromagnetické pole v prostoru. Pokud se otevřený obvod vybudí vysokofrekvenční energií, pak kromě ztrát ve vlastním rezonančním obvodu vzniká další „ztráta“ energie vyzařením elektromagnetických (rádiových) vln. Anténa vysokofrekvenční energii v podobě elektromagnetických vln stejně dobře vyzařuje, jako ji v podobě indukovaných vysokofrekvenčních proudů přijímá. Může se tedy zároveň používat jako anténa vysílací i přijímací.

Každé vyzařování antény je dáno různými charakteristickými vlastnostmi v různé vzdálenosti od antény. Definujeme tři základní zóny záření:

Rayleighův rozptyl, pojmenován po britském fyzikovi Rayleighovi, je pružný rozptyl světla nebo jiného elektromagnetického záření částic, mnohem menší než vlnová délka světla. Částice mohou být atomy nebo molekuly. To může nastat, když světlo prochází průhlednou pevnou látkou a kapalinou, ale nejvíce je viděná v plynech. Druhá zóna je Blízká zářivá oblast. Jedná se o mezioblast blízké a vzdálené zóny, kde je kritériem maximální fázová chyba od rovinné vlny. Poslední zóna je Vzdálená oblast. Tato oblast tvoří celý vnější prostor o poloměru větším než  $R^2$ . Pole v této oblasti je transverzální (příčné), obě složky jsou kolmé na směr šíření.

Každá anténa je charakterizována jejím rezonančním kmitočtem a šířkou pásma antény, ziskem antény, vstupní impedancí a vyzařovacím odporem antény a činitelem stojatých vln. Tyto funkce jsou podobné jak pro antény vysílací tak pro antény přijímací. Rozdíl mezi anténou vysílací a přijímací je takový, že anténa vysílací přeměňuje elek-

trickou energii na energii elektromagnetických vln a anténa přijímací přeměňuje energii elektromagnetických vln na elektrickou energii. pro směrové antény jsou charakteristické předozadní poměr a šířka hlavního svazku v horizontální a vertikální rovině. Další kapitola bude zaměřená na některé charakterní vlastnosti antén.[1]

## 2.2 Charakteristika antén

### 2.2.1 Rezonanční kmitočet a šířka pásma antény

Anténa je otevřený rezonanční obvod, ve kterém je kapacita a indukčnost nahrazena vodičem. Délka vodiče je násobkem vlnové délky, jinak řečeno ekvivalentem obvodu RLC v rezonanci. Anténa má vlastní rezonanční kmitočet, ale funguje efektivně v rozsahu frekvencí. Tento rozsah závisí hlavně na konstrukci antény.

Vzájemnou závislost mezi kapacitou, indukčností a kmitočtem v rezonančním obvodu vyjadřuje rovnice:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.3)$$

kde jsou:

$f$  - kmitočet [Hz] ([1/s])

$L$  - indukčnost [H]

$C$  - kapacita [F]

### 2.2.2 Zisk antény

Základním parametrem charakterizujícím účinnost antény je výkonový zisk  $G$ . Jedná se o relativní hodnotu vztaženou k určenému bodu v prostoru. Výkonový zisk vyjadřuje logaritmus podílu intenzity indukovaného pole ( $E_1$ ) nebo výkonu ( $P_1$ ) zkoumané antény a referenční antény ( $E_0, P_0$ )

$$G[dB] = 20 \log E_1/E_0 = 10 \log P_1/P_0 \quad (2.4)$$

Jinými slovy: výkonový zisk určuje, kolikrát je třeba zvýšit výkon referenční antény vzhledem ke zkoumané anténě pro dosažení stejné intenzity pole v měřeném bodě.[1]

### 2.2.3 Polarizace antény

Polarizace antény je nedílně svázaná s polarizací elektromagnetických vln. Elektromagnetické vlna se skládá z elektrického a magnetického pole, které jsou k sobě kolmé. Vertikálně polarizovaná vlna je ta, jejíž siločáry elektrického pole jsou kolmé k zemskému povrchu. Siločáry jsou elektrického pole jsou tedy rovnoběžné s vertikálním zářičem antény. Je teoreticky nemožné navázat spojení mezi anténami s nesouladnou polarizací, ale při dálkových spojeních, kdy se vlna mnohočetně odrazí od zemského povrchu i od ionosféry, získá smíšenou polarizaci (eliptickou nebo kruhovou). [1]

### 2.2.4 Úhly vyzařování antén

Každá anténa vysílá hlavní svazek pod určitým charakteristickým úhlem. Z praktického pohledu hovoříme o úhlech vyzařování ve dvou polarizačních rovinách: vertikální a horizontální. Úhel vyzařování všesměrových antén ve vertikální polarizaci závisí na jejich mechanické délce a konstrukci. kratší anténa má větší úhel vyzařování hlavního svazku:

- čtvrtvlnná anténa - úhel vyzařování cca 40°
- půlvlnná anténa - úhel vyzařování 30°
- anténa  $\frac{5}{8}\lambda$  - úhel vyzařování 10°

### 2.2.5 Činitel stojatých vln

Činitel stojatých vln (z anglického SWR - Standing Wave Ratio) je učením stupně přizpůsobení antény k napáječi a vysílači. Jeho hodnota se pohybuje v rozsahu od 1 do nekonečna. Když je ČSV roven 1, je vyzářen celý výkon přenesený na anténu  $F$ . Pokud je ČSV větší než 1 z důvodu neupravené impedance antény, vzniká odražená vlna, která se do vysílače zpět vrací. Toto je pak příčina poruch, dokonce může v mezních případech zničit zesilovač vysílače. Hodnotu ČSV vypočítáme podle rovnice:

$$SWR = \frac{1 + \sqrt{\frac{B}{F}}}{1 - \sqrt{\frac{B}{F}}} = \frac{Z_1}{Z_a} \text{ nebo } \frac{Z_a}{Z_1} \quad (2.5)$$

kde jsou:

$F, B$  - výkon přenášené a odražené vlny

$Z_1$  - impedance antény

$Z_a$  - impedance napáječe

## 2.3 Elektromagnetické vlny

Elektromagnetické vlny se vytvářejí buď přirozeně nebo uměle za účasti člověka. Všechny elektromagnetické vlny, bez ohledu na jejich délku a frekvenci, mají stejnou rychlost ve vakuu. V jiném centru, vlny různé délky, se nebudou šířit stejnou rychlostí. Rozdíl frekvencí elektromagnetických vln může být viděn v době vytváření nebo detekce elektromagnetického záření. Jedna ze skupin těchto vln je spektrum elektromagnetických vln. O elektromagnetických vlnách bude blíže popsáno v kapitole "Princip směrové antény HB9CV".

Spektrum elektromagnetických vln se skládá z:

Rádiové vlny - vlnová délka větší než  $10^{-4}$  m (0.1 mm). Tyto vlny mají velmi širokou škálu ve spektru elektromagnetických vln. Proto se dělí na dlouhé, střední, krátké a velmi krátké. Rádiové vlny jsou nosičem pro rozhlasové a televizní programy a jiné zvukové signály. Jsou zpracovány z vysílače na odpovídajícím vzoru oscilace elektronů, které jsou emitovány vysílačem antény v podobě rádiových vln. Když tato vlna dosáhne přijímače antény přijímací, tak je opět převede na zvuk nebo obraz.

Charakteristika základních typů rádiových vln:

Název pásma	Zkratka	Značení ITU	Frekvence Vlnová délka
Extrémně nízká frekvence	ELF	1	3–30 Hz 100,000 km – 10,000 km
Super nízká frekvence	SLF	2	30–300 Hz 10,000 km – 1000 km
Ultra nízká frekvence	ULF	3	300–3000 Hz 1000 km – 100 km
Velmi nízká frekvence	VLF	4	3–30 kHz 100 km – 10 km
Nízká frekvence	LF	5	30–300 kHz 10 km – 1 km
Střední frekvence	MF	6	300–3000 kHz 1 km – 100 m
Vysoká frekvence	HF	7	3–30 MHz 100 m – 10 m
Velmi vysoká frekvence	VHF	8	30–300 MHz 10 m – 1 m
Ultra vysoká frekvence	UHF	9	300–3000 MHz 1 m – 100 mm
Super vysoká frekvence	SHF	10	3–30 GHz 100 mm – 10 mm
Extrémně vysoká frekvence	EHF	11	30–300 GHz 10 mm – 1 mm

Tabulka 2.1: Tabulka rádiových vln

## 3 Anténa HB9CV

### 3.1 Historie antény

V roce 1951 pospal H.J.Gruber W8MGP plněbuzenou dvouprvkovou anténu označenou jako ZL - speciál, která sestává ze dvou smyčkový dipólů, což naznačuje počátky antény HB9CV. Anténa HB9CV byla navržena a vyvinutá v roce 1954 a od této doby byla postavena mnoha amatéry a ještě nějakou dobu stavěna bude. Jelikož za poměrně mnoho let byla postavena mnohokrát, skoro všechny elektrické i konstrukční chyby byly vyřešeny.

#### 3.1.1 Autor

Člověk, který se zabýval touto anténou, byl Rudolf Baumgartner, který napsal velice dobrou příručku o anténě HB9CV. Narodil se 11.11.1914 v Bernu. Byl to člověk, který byl s radiotechnikou úzce spojen jako amatér, tak i profesionál. Už jako dvacetiletý mladík se začal zajímat o vysokofrekvenční techniku a v roce 1937 se mu podařilo získat oprávnění k provozu vysílací stanice. Odborné studium zakončil v roce 1943. V roce 1947 vstoupil do služeb státu a pracoval tam jako VF technik v ministerstvu obrany. Zkušenosti, které nabyl jako amatér, se mu vyplatily i v 2. světové válce, kde byl zařazen u spojovacích jednotek. Jednou z posledních prací, které se věnoval, byly pokusy s anténou HB9CV. Dobré výsledky s uvedenou anténou jej podnítily k dalším pokusům a tuto anténu se snažil jak nejlíp zdokonalit.

### 3.2 Hlavní charakteristické vlastnosti antény

Anténa HB9CV jde velice dobře a hlavně levně zkonstruovat. Vzhledem k odevzdanému výkonu se náklady pohybují opravdu na minimu. Můžeme ji srovnat s tříprvkovou Yagi anténou s velkou vzdáleností prvků nebo čtyřprvkovou s prvky blízko sebe. Dále je nutné vzpomenout dobrou šířku pásma i na 10 metrech v pásmu od 28 MHz do 29,5 MHz bez toho, aniž by poklesla vyzářená energie. Také je třeba zmínit, že bezprostředně po sestavení antény a po minimálním naladění je schopná provozu.

S anténou HB9CV dosáhneme stejných, dokonce i lepších výsledků, než s tříprvkovou nebo čtyřprvkovou anténou s parazitně napájenými prvky. Hlavně proto mnoho amatérů změnil názor, hlavně pro pásmo 20 metrů, které dovoluje za každého počasí a stavu sluneční činnosti spojení na velkou vzdálenost, a postaví si tuto anténu. Ztráty absorpcí jsou zde pochopitelně větší, než je tomu u pásem 15 nebo 10 m a navíc zde, jako na poměrně úzkém pásmu, přichází v úvahu silné rušení jinými než amatérskými stanicemi, pracujícími na tomto pásmu. U antény je úspěšný provoz možný tehdy, jestliže síla přijímaného signálu překročí průměrnou úroveň rušení a abychom toho mohli dosáhnout, musí mít výkonnější vysílač s příkonem minimálně 50 až 200 Wattů. Mnoho amatérů se

bojí právě velkých rozměrů, které vycházejí z propočtů jednotlivých prvků pro pásmo 20, 15 nebo 10 metrů, ale na 2 prvky jsou tyto rozměry akorát. Pak nastává otázka, jestli tak malý zisk, který má dvouprvková anténa, je cenově přijatelný s pořízením a stavbou antény. Právě proto nastává situace, kdy anténa HB9CV při malých nákladech poskytuje dostatečný výkon. V některých případech se stavba antény HB9CV ukáže dokonce jediným možným řešením pro 20 m pásmo.

*Všimněme si ale ještě dalších typů směrových antén. Vynikajícím zlepšením základního typu antény je G4ZU a všechny její varianty. Autor původně myslel, že HB9CV byla touto třípásmovou směrovkou překonána, ale přesvědčil se, že tomu tak není. Chce-li si někdo postavit směrovku, pracující na třech pásmech s co nejmenšími náklady, pak je G4ZU tou pravou anténou. Při tom ale nesmíme zapomenout na jednu důležitou skutečnost, že totiž všechny vícepásmové antény jsou vlastně kompromisním řešením. To se projevuje hlavně v tom, že taková anténa má na 20 m pásmu zmenšenou účinnost, zatímco v pásmu 10 m pracuje dobře. Z praxe však víme, že na 10m pásmu lze i s náhražkovou anténou dosáhnout dobrých výsledků, což o 20 m pásmu říci nelze. Přes tuto „nectnost“ G4ZU dává vzhledem k vynaloženým nákladům vynikající výsledky. Chce-li ovšem někdo postavit anténu, která by pracovala na jednom nebo více pásmech bezkompromisně, pak lze doporučit HB9CV. Pro práci na více pásmech musíme mít ovšem pro každé pásmo samostatnou dvouprvkovou anténu. Toho se však netřeba lekat, protože lze antény pro jednotlivá pásma umístit do pater nad sebou. [2]*

Mnoho radioamatéra může říci, že sestavení antény nebylo to nejtěžší co je mohlo čekat. Pro seřízení vlastnoručně vyrobené směrovky je potřeba ovládat teoretické základy. Pokud tomu tak nebylo, radioamatér si musel koupit nebo někde najít teoretické základy. V opačném případě si musel koupit hned celou anténu, což není pro radioamatéra to nejlepší. V této situaci u této antény jsou dodatečné nastavování minimální.

*Měli bychom si však ještě všimnout antén nazvaných „minibeam“. Zde se využívá zkušenosti, že lze každou anténu libovolně zkracovat, jestliže zkrácením zmenšenou kapacitu nebo indukčnost antény nahradíme jinak a přivedeme ji tak znovu na rezonanční kmitočet. To se obvykle provádí tak, že do proudové kmitny zařazujeme indukčnost, nebo do napěťového uzlu zařazujeme kapacitu. Ovšem každým zmenšením účinné plochy antény se zmenšuje i elektromagnetické pole kolem ní, což má za následek zmenšení její účinnosti. Elektricky se to projevuje zmenšením vyzařovacího odporu. Vyzařovací odpor víceprvkových antén se pohybuje mezi 10 a 20  $\Omega$ , zatímco vysokofrekvenční (dále jen vf) ztrátový odpor u konstrukcí z trubek z lehkých kovů se pohybuje mezi 1 až 2  $\Omega$ . Pak se účinnost pohybuje kolem 90%. Zkracováním však se můžeme dostat k takovému případu, že vyzařovací odpor klesne ku příkladu na 5  $\Omega$ , zatímco ztrátový odpor naroste rovněž na 5  $\Omega$ . To představuje pak účinnost 50% . Ztráta poloviny výkonu se na hlasitosti ještě nijak podstatně neprojeví, ale zařazením cívek ovlivníme sinusový průběh proudu a napětí na anténě, což má přímý vliv na směrovost antény. Proto by stavba minibeamu měla být uvažována skutečně jenom tam, kde nejsou možnosti postavit anténu plné délky. [2]*

Skutečností však zůstává, že směrovky s paralelními dipóly na způsob HB9CV, lze snadno konstruovat celkové, čímž je dána jejich dobrá odolnost proti povětrnostním vlivům a hlavně jsou snadno otočné. Komplikované systémy pak kladou větší požadavky na konstrukční řešení, aby byla zachována trvanlivost antény. Amatér očekává

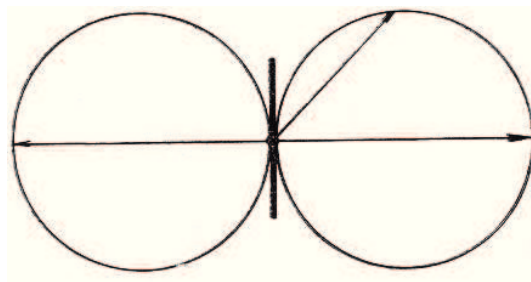


od své antény radost ze spojení a je proto třeba ji postavit tak, aby mohl klidně spát i za bouře a nečasu.[2]

### 3.3 Princip směrové antény HB9CV

#### 3.3.1 Princip vyzařování elektromagnetické energie

Půlvlnný dipól nám představuje formu zářiče, který má schopnost kmitat na rezonančním kmitočtu. V anténě buzené z vysílače vznikají střídavé proudy a napětí, vytvářejí kolem ní rychle vznikající a opět doznívající elektromagnetické pole, které se šíří daleko do prostoru. V důsledku konečné rychlosti šíření elektromagnetického pole (300.000 km/sec.) se nestačí vnější část magnetických siločárek vrátit včas zpět k anténě a je proto následujícími siločarami jakoby odstrkovávána, což můžeme považovat za zjednodušený výklad vyzařování elektromagnetické energie do prostoru (obr. 3.1).

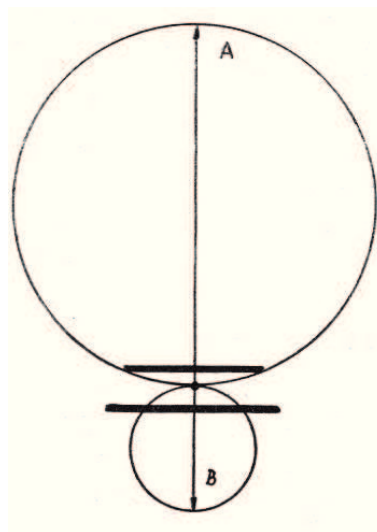


Obrázek 3.1: Vyzařování elektromagnetické energie do prostoru.

Na základě tohoto sice jednoduchého, leč logického vysvětlení, si můžeme učinit obraz o tom, jak asi je vyzařována elektromagnetická energie z antény, a to i přes skutečnost, že již v minulém století geniální Maxwell zakotvil do matematických rovnic své zákony o vyzařování elektromagnetické energie. U zmíněného půlvlnného dipólu můžeme pozorovat minimum vyzářené energie podél osy, zatímco maximum je kolmé k ose. To můžeme dobře vidět na obrázku (obr.3.1). Vybudíme-li několik za sebou nebo vedle sebe uspořádaných dipólů, můžeme změnou jejich vzájemné vzdálenosti měnit průběh fáze a tím i vyzařovací diagram soustavy. Tato změna je vyvolána vzájemným působením jednotlivých dipólů možno říci interferencí, na jejímž základě jsou vlastně uspořádány směrové antény.

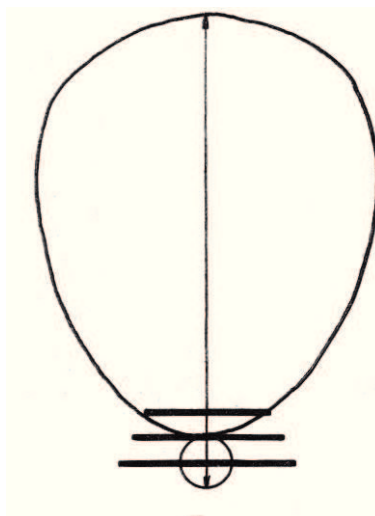
Mnohdy vyvstane požadavek soustředit vyzářenou energii do určitého poměru. Geniální a při tom jednoduché řešení bylo navrženo již před mnoha lety japonským vědcem Yagim. Umístí-li se blízko sebe (ve vzdálenosti asi  $\lambda/4$  až  $\lambda/10$ ) dva dipóly, přičemž jeden je buzený energií z vysílače, počne druhý vlivem elektromagnetického pole vzniklého kolem prvního dipólu parazitně kmitat. Prodlouží-li se nyní tento parazitně napájený prvek, pak již nebude mít přesnou resonanci s prvkem buzeným, bude zatížen induktivní složkou, čímž dojde k fázovému posunutí, které má za důsledek, že vyzařo-

vání energie ve směru A se podporuje, zatímco ve směru B působí proti (obr.3.2). Opačně se bude chovat prvek, který bude kratší, než odpovídá rezonanční kmitočet, neboť na něm bude převládat kapacitní složka, která vyvolá fázové posunutí opačného směru, než tomu bylo v předchozím příkladu a prvek působí tedy jako direktor a musí se tedy zařadit před zářič.



Obrázek 3.2: Dva jednoduché dipóly vznikající přes dva přizpůsobovací úseky tvaru T.

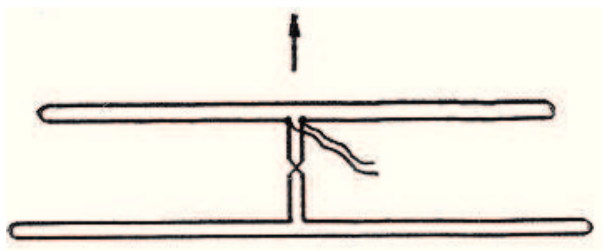
Když se uspořádají tyto popsané prvky kolem zářiče, dostaneme klasickou formu Yagiho antény, což znamená tříprvkovou směrovku obr.(3.3). Taková anténa je v porovnání s normálním dipólem podstatně výkonnější. Případným dalším přidáváním prvků, hlavně direktorů, jak se to obvykle dělá u antén pro VKV, můžeme dále zvyšovat zisk. Přírůstek zisku však již od 4. prvku je velmi malý a s každým dalším prvkem klesá. Důvodem, proč se Yagiho anténa těší takové oblibě tkví v tom, že je u ní třeba napájet jen jediný prvek, lze ji mechanicky řešit jako celokovovou, čímž se stává velmi odolnou vůči povětrnostním vlivům. Účinnost každého parazitně buzeného dipólového prvku je však nejistá a v žádném případě ji nelze srovnávat s účinností přímo buzených prvků. Tím se dostává myšlenka napájet reflektor i direktor přímo z vysílače se správným fázováním a tím se přiblížit k 100% účinnosti. Zde je nutné, jen na základě úvahy, dojít k závěru, že svazkování elektromagnetické energie, jakož i její vyzáření, je u dvou prvků přímo buzených lepší, než u tříprvkové Yagi, což je dnes již plně prokázáno. Zůstává otázka, zda se může i navzdory komplikovanému napájení postavit takovouto anténu tak pevně a trvanlivě jako anténu Yagiho.[2]



Obrázek 3.3: Uspořádání prvků kolem zářiče

### 3.4 Činnost antény HB9CV

Jak bylo popsáno na začátku, přibližně v roce 1951 popsal H. J. Gruber W8MGP plně-buzenou dvouprvkovou anténu označenou jako ZL - speciál, která sestává ze dvou smyčkový dipólů (obr. 3.4). I když byla dokázána její výkonnost, přece jen bylo její konstrukční řešení poněkud obtížné, neboť si vyžadovalo silné nekovové nosné konstrukce, na níž pak byly oba smyčkové dipóly mnoha rozpěrkami upevněny.



Obrázek 3.4: Dva smyčkové dipoly

Směrová anténa HB9CV sjednocuje v sobě elektrické přednosti vzájemného napájení obou prvků, jakož i mechanickou pevnost konstrukce antény Yagi. Jde o dva jednoduché dipóly, buzené přes dva přizpůsobovací úseky tvaru T (obr. 3.5). Podstatné zjednodušení tkví v tom, že celý napájecí systém je z měděného drátu, provedení je jednoduché, náklady zanedbatelné a konstrukce i po pětiletém provozu elektricky stálá a odolná proti povětrnostním vlivům.

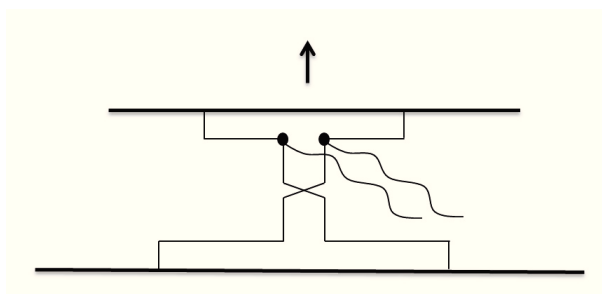
Reflektor plní dvě funkce:

Odráží zpět část energie, která nebyla zachycena zářičem a tím zvyšuje zisk.

Odstiňuje zářič od energie dopadající ze zadního směru, což udává činitel zpětného příjmu.

Délka jednoprvkového reflektoru a jeho vzdálenost od zářiče musí být taková, aby proud procházející reflektorem byl v protifázi vzhledem k zářiči, teprve pak dochází k potřebnému odrazu. Reflektor musí být vzdálen  $0,15 - 0,25 \lambda$  od zářiče a musí být o něco delší než direktor. Pro širokopásmové antény Yagi pro IV. a V. TV pásmo se často používá úhlový reflektor, který je účinnější na zisk i činitel zpětného příjmu.

Direktory - Antény typu Yagi, patří do skupiny s povrchovou vlnou, jejíž vznik podél antény umožňují právě direktory. Tím se zvětšuje prostorová oblast, ze které může dipól odsát energii elektromagnetické vlny, zvětšuje se i efektivní plocha antény a tím i zisk. Jednotlivé direktory jsou vlastně dipóly se zkratovanými svorkami. Vlna přijatá direktorem se od zkratu odráží a je zpět vyzářena s fázovým zpožděním daným délkou direktoru. Jsou-li vzájemné rozteče direktorů v souladu s fázovými posuvy, vznikne vedená vlna, která energii s přispěním reflektoru předá prostřednictvím direktoru do napáječe. Konfigurace direktorů má zásadní vliv pro směrové vlastnosti antény.



Obrázek 3.5: Dva jednoduché dipóly buzené přes dva přizpůsobovací úseky

## 4 Popis návrhu antény

Tato kapitola je zaměřená na návrh antény. Je zvolen kmitočet, podle kterého bude navrhovaná a sestavovaná anténa. Od výpočtů jednotlivých součástek a parametrů přes simulaci v zadaném programu až po samostatnou konstrukci antény.

### 4.1 Návrh antény

Jsou zadané tři různé kmitočty. První je 736 MHz, který slouží pro příjem DVB-T signálu na Multiplexu 1. Další dva jsou volné kmitočty 433 a 869 MHz. Pro představu jak velká by mohla být anténa, je v tabulce poukázáno na menší kmitočet 14 MHz. U tohoto kmitočtu je viditelný podstatně větší rozdíl v rozměrech než u předešlých. Z těchto tří pásem bylo vybráno 433 MHz.

Kmitočet	Vlnová délka	Reflektor	Direktor (m)	Rozteč	Průměr
869 MHz	0,345 m	0,173 m	0,159 m	0,043 m	0,495 až 0,9 mm
736 MHz	0,407 m	0,204 m	0,188 m	0,051 m	0,584 až 1 mm
433 MHz	0,693 m	0,348 m	0,320 m	0,087 m	0,993 až 1,7 mm
14 MHz	21,42 m	10,75 m	9,88 m	2,68 m	30,17 až 53,6 mm

Tabulka 4.1: Tabulka zadaných kmitočtů

Patří do tzv. ISM (industrial, scientific and medical) pásma. Jsou to pásma pro rádiové vysílání v oborech průmyslovém, vědeckém a zdravotnickém. Jsou to pásma volná, což znamená že je v nich při použití homologovaného (schváleného) zařízení dovolen provoz bez licenčních poplatků, avšak bez garance proti rušení. Podmínky pro provoz takovýchto zařízení jsou stanoveny generálními licencemi, které vydal Český telekomunikační úřad

Jedná se o oblíbené pásmo pro přenos malých objemů dat. Každý výrobce si přenos řeší sám, jelikož se na tomto pásmu neprosadil žádný konkrétní standard. Toto pásmo (433 MHz), je hojně využíváno v levnějších verzích klávesnic a bezdrátových myších, nebo pro komunikaci s senzory a bytových meteostanicích. Další příklad použití je znám snad u každého chlapce, jako autíčka na dálkové ovládání. Velkým problémem pásma 433 MHz je to, že se jednotlivá zařízení mohou rušit.

Kmitočet (MHz)	Maximální šíře pásma	Druh provozu
430.000 - 431.975	20 kHz	všechny druhy provozu
432.000 - 432.025	500 Hz	Telegrafie
432.025 - 432.100	500 Hz	Telegrafie a MGM
432.100 - 432.400	2700 Hz	Telegrafie, MGM, SSB
432.400 - 432.490	500 Hz	Telegrafie a MGM
432.500 - 432.975	12 kHz	všechny druhy provozu
433.400 - 433.575	12 kHz	FM/ DV <sup>1</sup>
433.600 - 434.000	20 kHz	všechny druhy provozu
434.000 - 434.594	12 kHz	všechny druhy provozu
434.594 - 434.981	12 kHz	všechny druhy provozu, FM
435.000 - 438.000	20 kHz	Družicová služba
438.000 - 440.000	20 kHz	všechny druhy provozu

Tabulka 4.2: Tabulka k kmitočtovému plánu 430 - 440 MHz

## 4.2 Výpočet rozměru antény

Tato část je zaměřena na výpočet rozměrů na daný kmitočet. Zde je názorná ukázka, jak se počítají jednotlivé části antény. Jak už je známo, anténa HB9CV se skládá s reflektoru, direktoru, ráhna a přípojného fázové vedení. Pro výpočet rozměrů stačí znát pár základních vzorců.

První vzorec je pro výpočet vlnové délky. Vlnová délka představuje nejmenší vzdálenost dvou bodů, které kmitají se stejnou fází. Tento vzorec je dán následovně:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4.1)$$

kde:

$\lambda$  = vlnová délka(m)

$c$  = rychlost světla(m/s)

$f$  = frekvence (Hz)

Vybraný kmitočet je 433 MHz proto:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{433 \cdot 10^6} = 0,693m \quad (4.2)$$

V současné literatuře sotva najdete pojednání o dvou společně buzených nestejně dlouhých dipólech vzdálených od sebe  $\lambda/8$ . Matematické pojednání je velmi obtížné a tak na základě logické úvahy a pokusů se dostaneme podstatně dál. Jelikož dobré výsledky jsou již praxí ověřeny, je možné, že vědeckou cestou se dostane dalšího zlepšení.

Vzdálenost  $\lambda/8$  mezi oběma prvky byla zvolena proto, že se jak po elektrické, tak po konstrukční stránce jevila nejvýhodnější. Dociluje se při ní totiž nejvýraznějšího jednostranného vyzařování. Toho lze dosáhnout u antény, u níž je fázový úhel jednoho z prvků zpožděn o  $225^\circ$  (tj.  $180+45^\circ$ ) nebo předbíhá o  $135^\circ$  ( $180-45^\circ$ ).

Pro dosáhnutí zpoždění, je nutné splnit tři základní podmínky:

1. Napájecí systém musí být uspořádán tak, aby oba dipóly byly buzeny s uvedeným posunutím fáze. Toho se dociluje přetočením fázovacího vedení o  $180^\circ$ , čímž vznikne i elektrické otočení fáze o  $180^\circ$  a dalšího zpoždění  $45^\circ$  pak dosáhneme vřazením vedení o délce  $\lambda/8$  mezi direktor a reflektor.
2. Stejně i vazba mezi oběma prvky musí být nastavena tak, aby oba dipóly byly buzeny se stejným fázovým posunem tj.  $225^\circ$ , jinak by působila proti. To se dosáhne prodloužením zadního a zkrácením předního prvku, takže anténa nyní sestává z reflektoru a direktoru.
3. Aby anténa pracovala s co nejlepším účinností, musí představovat v bodě napájení čistě ohmickou složku, čili její napájení musí být bez odrazů. Délku prvků můžeme totiž volit tak, aby se induktivní složka reflektoru v napájecím bodě kompensovala s kapacitní složkou direktoru.[2]

Vlnová délka pro zadaný kmitočet je tedy 0,693 m. Dále se vypočítá reflektor a direktor.

Reflektor je dán vztahem:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{0,693}{2} = 0,348m \quad (4.3)$$

Direktor je dán vztahem:

$$\frac{\lambda}{2} \cdot 0,92 = \frac{0,693}{2} \cdot 0,92 = 0,320m \quad (4.4)$$

Dále se vypočítá rozteč mezi Direktorem a Reflektorem.

Ráhno je dáno vztahem:

$$\frac{\lambda}{8} = \frac{0,693}{8} = 0,087m \quad (4.5)$$

Fázovací vedení by mělo splňovat tyto podmínky:

1. Aby nevyzařovalo, měla by být jeho rozteč nejvýše 12-25 mm i když není nijak kritická. Vlnový odpor při těchto malých délkách ( $\lambda/8$ ) je rovněž bezvýznamný.
2. Fázovací vedení se musí vést izolované, aby se nikde nemohlo spojit s jinými kovovými částmi antény, jinak by došlo ke zkratu.
3. Elektrická délka fázovacího vedení má být  $\lambda/8$ . Jak je známo, rychlost šíření na dvou paralelních vodičích je o něco menší než rychlost světla  $c$ , čili asi  $0,9 \cdot c$ . Uspořádali se přizpůsobení T nebo gama, je fázovací vedení automaticky kratší asi o 10 procent, čímž je již dána správná délka. Samozřejmě se může použít i dvojlinky  $300 \Omega$ , jejíž zkracovací činitel je udáván výrobcem mezi 0,82-0,86. Neměl by se používat kabel s malou impedancí, protože jeho zkracovací činitel je příliš malý a délka pak vychází velká.

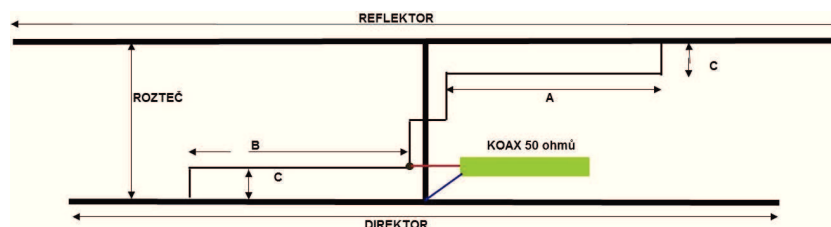
V poslední řadě se vypočítá přípojné fázovací vedení. Toto vedení se rozdělí do tří částí:

$$A = \frac{\lambda}{2} \cdot 0,135 = \frac{0,693}{2} \cdot 0,135 = 0,048m \quad (4.6)$$

$$B = \frac{\lambda}{2} \cdot 0,125 = \frac{0,693}{2} \cdot 0,125 = 0,043m \quad (4.7)$$

$$C = \frac{\lambda}{100} = \frac{0,693}{100} = 6,951mm \quad (4.8)$$

Na obrázku (obr. .1) jsou vidět komponenty a jejich označení.



Obrázek 4.1: Rozměry antény



### 4.3 MMANA - O programu

Japonský radioamatér Makoto Mori napsal program pro modelování antén s využitím numerických metod, který je na internetu dostupný jako freeware, MMANA. Pomocí matematického jádra NEC-2, který byl vytvořen v Livermoore laboratories v sedmdesátých letech pro sálové počítače používané pro kosmické komunikace a vojenské operace, probíhá vlastní modelování. Během času proběhly inovace jádra, a začátkem devadesátých let byl program nahrazen novým, výkonnějším jádrem NEC-4 a předešlý NEC-2 byl uvolněn pro všeobecné použití. Je to pochopitelně poznat jak výkonnostně, tak i cenově. Implementace s jádrem NEC-4 jsou cenově přes 1000 \$, kdežto u NEC-2, který je v dnešní době nejmodernější volně dostupné jádro a vyskytuje se v řadě FTP (File Transfer Protocol) serverů jako Fortránská knihovna a v mnoha komerčních aplikacích, se cena pohybuje maximálně do 100 \$. Využití jádra je podmíněno napsáním vstupně/-výstupního systému, kterým je například právě program MMANA.

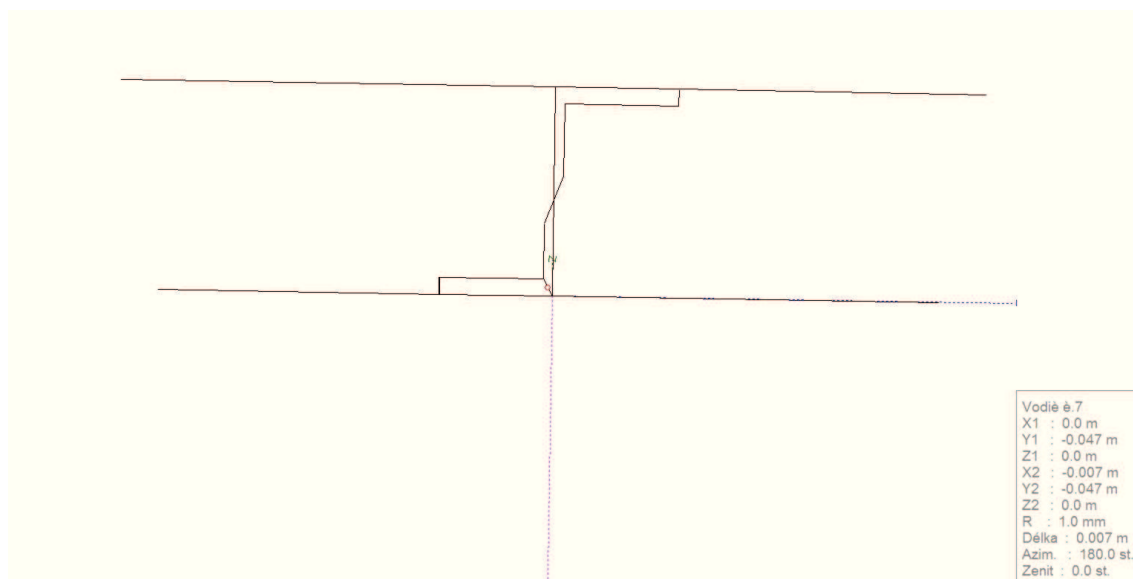
Pro matematické zpracování využívá jádro NEC metodu momentů, tzn. že anténní prvek je rozdělen na segmenty. Program spočítá vlastnosti a chování jednotlivých segmentů a poté vliv ostatních segmentů na počítaný segment. Zkombinováním (superpozicí) se získají výsledné vlastnosti řady prvků – antény.

### 4.4 Simulace antény HB9CV

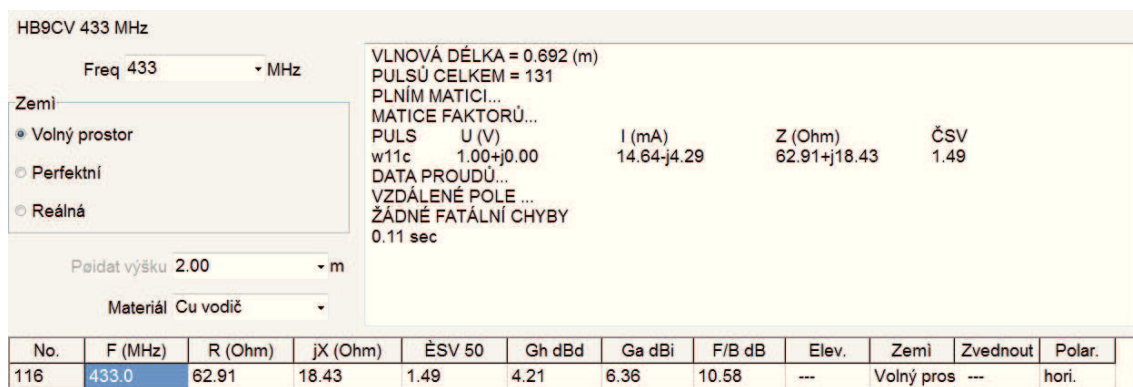
Na pracovní ploše "Zobrazení" je nyní zobrazené schema zadané antény. Anténa je umístěna v kartézském souřadném systému, kde jsou osy "x" a "y" rovnoběžné s povrchem země, osa "z" je k povrchu kolmá, bod  $z = 0$  leží na povrchu země. Pomocí voleb "Zvoleného vodiče", "Středu antény" a " $X=0, Y=0, Z=0$ " lze model antény v prostoru natáčet a zvětšovat. Volba "Zvětšit proudy" slouží pro zvětšení proudové distribuce, která se na anténě zobrazí až po výpočtu.

Před zahájením výpočtu je nutné si ověřit správné nastavení frekvence a nastavit si vlastnosti země, povrchu a materiálu vodiče, při kterých bude anténa analyzována. Nastavit se musí ještě výška antény nad zemí.

Na pracovní ploše "Výpočet" v levém horním rohu je nastavena frekvence 433 MHz. Vlastnosti povrchu pod anténou se nastaví v okně "Země" - je nastaveno "Volný prostor". Výška antény nad zemí se zadává do okna "Přidat výšku". V okně Material je zadán materiál použitého vodiče a to je Cu (měď). V tomto okamžiku je model antény připraven k analýze – výpočet se spustí tlačítkem Start.



Obrázek 4.2: Grafický návrh antény

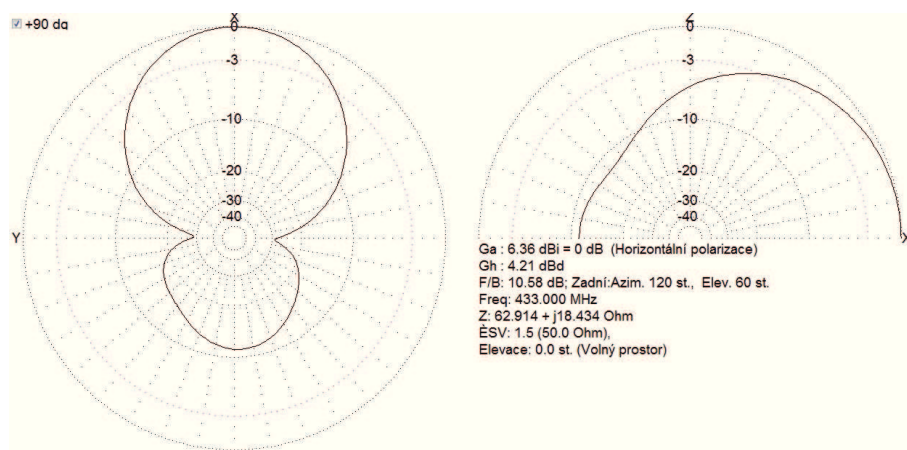


Obrázek 4.3: Výpočet antény

V tabulce v dolní části pracovní plochy se v prvním řádku (první výpočet) objevily hodnoty parametrů analyzované antény.  $R$  ( $62.91 \Omega$ ) a  $jX$  ( $18.43 \Omega$ ) jsou složky vstupní komplexní impedance, SWR 50 (1.49) je poměr stojatých vln na impedanci  $50 \Omega$ ,  $G_a$  (6.36 dBi) je zisk antény, F/B (10.58 dB) je předozadní poměr, Elev. dg je úhel, pod kterým anténa vyzařuje maximum energie ve vertikální rovině. V tomto okamžiku je možné na schématu antény na pracovní ploše "Zobrazení" zjistit proudové obložení antény (zobrazené modře). (obr. 4.3)

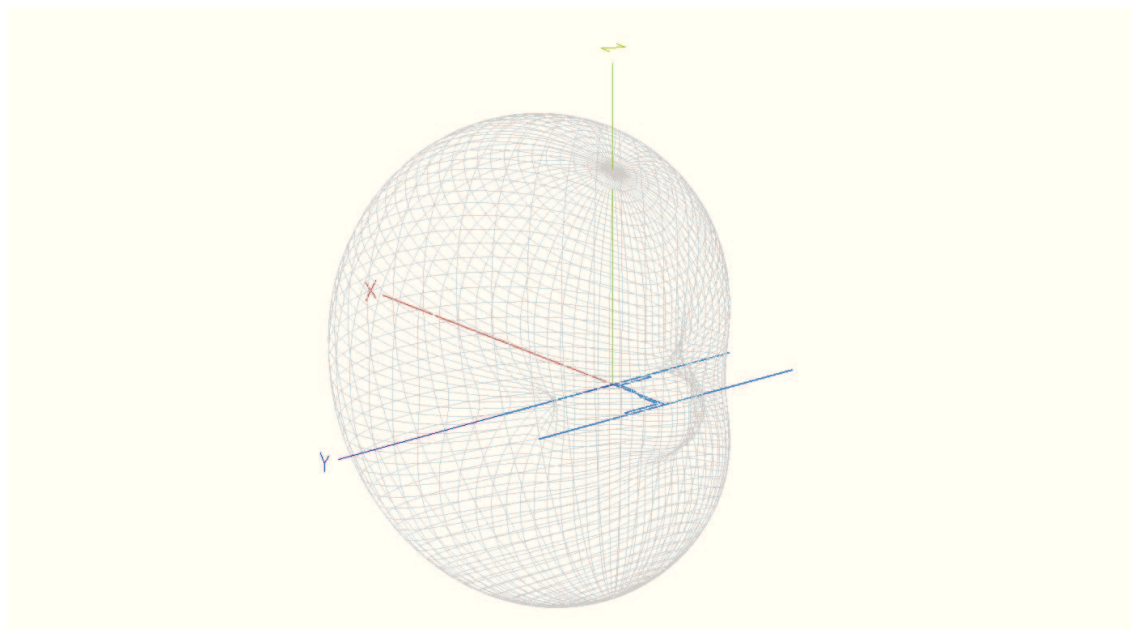
Po výpočtu program vykreslí vyzařovací charakteristiky antény. Tyto charakteristiky jsou zobrazené na ploše "Vykreslení vzdáleného pole". V pravé části obrazovky je

diagram záření v horizontální rovině (kruhový), v levé části vyzařovací diagram vertikální (půlkruhový). V pravém dolním rohu v okně "Pole" je zvolena polarizace Horizontální. Horizontální diagram záření je zobrazen pro maximum vyzařování ve vertikální rovině.(obr. .6)



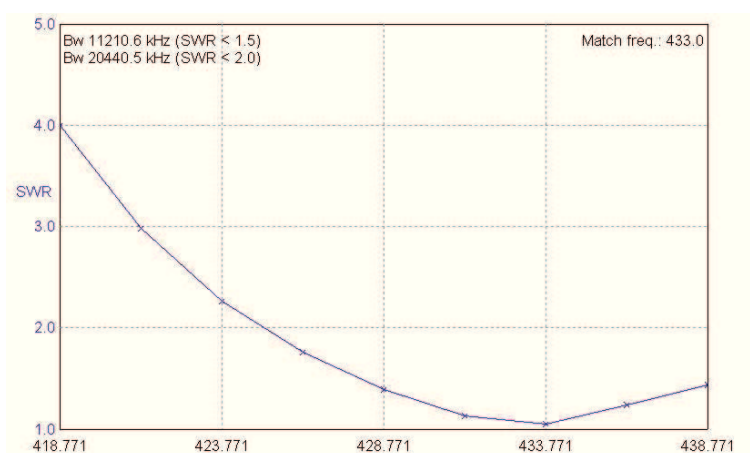
Obrázek 4.4: Směrová a vyzařovací charakteristika antény HB9CV

Efektivní, zvláště pro publikace je diagram který se obdrží po stisku tlačítka "VZDÁLENÉ POLE 3D "(obr. 4.5). Obrázek sice nemá žádné měřítko, nedá se z něj nic odečíst, ale je velice názorný.

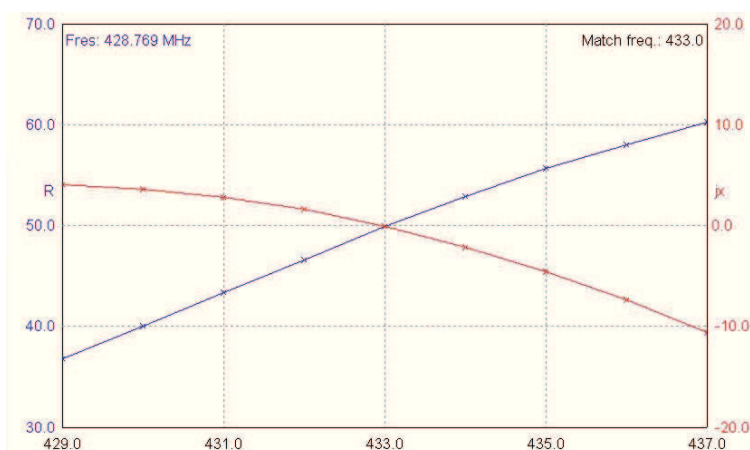


Obrázek 4.5: Vzdálené pole 3D

Je třeba si uvědomit, že výsledné vlastnosti antény jsou dány také jejím umístěním v prostoru. Vliv překážek v okolí antény, nestejnorodost země, zakřivení povrchu, změna vlastností napáječe vlivem klimatu, kapacitní a induktivní vazby a další jevy, které nelze programem simulovat, mají vliv na vlastnosti a vyzařování antény. Měřením antény ve skutečných podmínkách lze zjistit rozdíly mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami (ovšem ani měřením antén se nemusí vždy získat hodnoty s požadovanou přesností). I přesto je ve spojení s teoretickými znalostmi z oblasti šíření elektromagnetických vln a antén program MMANA účinný nástroj pro návrh antén. Numerické zpracování umožňuje řešit zadané problémy v extrémně krátkých časech a výsledná přesnost je ve většině případů dostačující.[4]



Obrázek 4.6: SWR v závislosti na kmitočtu



Obrázek 4.7: R+X v závislosti na kmitočtu

## 5 Konstrukce antény

Tato kapitola popisuje samotnou konstrukci antény. Jaký materiál je použit, jak je provedená konstrukce a také malé upozornění na pár chyb, které se můžou během konstrukce vyskytnout.

### 5.1 Popis konstrukce

Před nákupem součástek a drátů je důležité si promyslet, z jakého materiálu (kovu) bude tato anténa. Je známo, že nejběžnějším materiálem používaným na výrobu antén pro VHF a UHF je hliník a jeho slitiny. Je to hlavně pro jeho mechanické než pro jeho elektrické vlastnosti, protože je lehký, odolává povětrnostním podmínkám, je poměrně levný a může se dobře tvarovat. Nevýhoda je pouze taková, že silně koroduje prakticky se všemi ušlechtilými kovy, jako jsou například mosaz, olovo, chrom. Ke korozi nedojde s jeho slitinami, kadmíem, zinkem a pochopitelně s hliníkem. Jakýkoliv jiný vodivý materiál je samozřejmě možné použít také, ovšem s vědomím, že některá z vlastností hliníku nebude zachována. Nabízí se možnost vyrobít anténu z mědi nebo ze železa, což není problém, protože jak vysílací tak přijímací vlastnosti to neovlivní. Schopnost antény transformovat elektromagnetické vlnění v prostoru na elektrický proud a naopak totiž nikterak nesouvisí s použitým materiálem.

Měď se vyznačuje velmi dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí, dobře se mechanicky zpracovává a je odolná proti atmosférické korozi. Je základní součástí řady velmi důležitých slitin a je mimořádně důležitá pro elektrotechniku. Ráho antény HB9CV je neutrální proto by nemusel být z mědi, ale i z jiného kovu. U této antény, aby vypadala dobře, bude ráho také z mědi. Na ráho bude použit 2,5 m měděné trubky o průměru 12 mm. Dále reflektor a direktor bude z měděného kabelu o průměru 1,8 mm o délce 1 m. Fázovací vedení bude z měděného svařovacího drátu, který jde zakoupit v Hornbachu nebo v OBI. Koaxiální RG58 50 Ohm kabel je možné zakoupit v GEM Electronics v Ostravě. Je možnost zakoupit samostatně kabel a konektor nebo přímo kabel s nasazeným konektorem. Toto je vše, co je potřebné, aby byla anténa kompletní. (obr. 5.1).

Následuje popis konstrukce. Měděná trubka je uříznutá rozbrušovací pilou na délku asi 25 cm. Je to z toho důvodu, že ve vzdálenosti asi 17 cm bude ohnutá tak, aby anténa měla úchytku. Není to nutné, anténa může být bez úchytky a uříznutá v přesné vzdálenosti 8,7 cm. Následně jsou vyvrtány 2 díry o průměru 1,8 mm pro reflektor a direktor s rozstupem 8,7 cm. Mezi tyto 2 díry je navrtaná další díra o průměru 4 mm pro fázovací vedení. Další díra je navrtána 1 cm pod direktor, kde bude zašroubované stínění kabelu. Pak se začne nahřívat ráho, aby se mohl napájet reflektor a direktor. Nemusí se to podařit pokaždé, záleží na průměru trubky a hlavně na šířce stěny. Proto se může využít speciálního lepidla na různé typy materiálu, mezi jinými i na kovy. Dále je do prostřední díry nainstalována guma, aby se fázovací vedení nedotýkalo ráha (obr. 5.2).



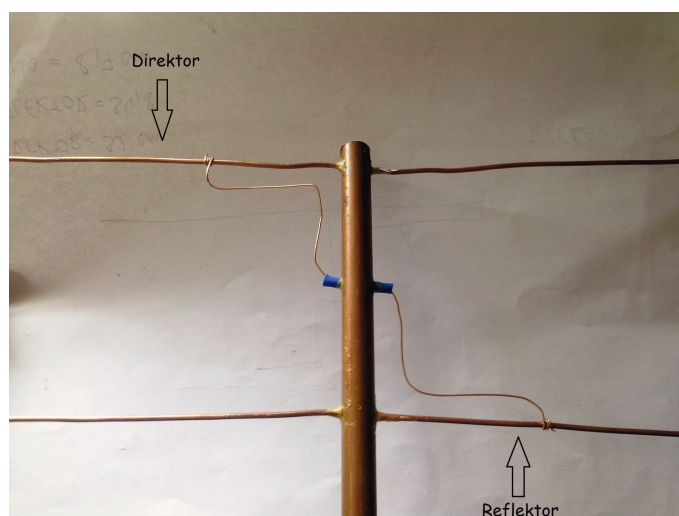
Obrázek 5.1: Materiál



Obrázek 5.2: Ráhno z reflektorem a direktorem

V další části konstrukce je na řadě přidat fázovací vedení tak, aby přesně odpovídaly vzdálenosti. Jeden konec fázovacího vedení je připájen k direktoru, zahnutý po 7 mm a natáhnutý ve vzdálenosti 4,3 cm od ráhna. To samé u reflektoru, ale ve vzdálenosti 4,8 cm od ráhna (obr. 5.3).



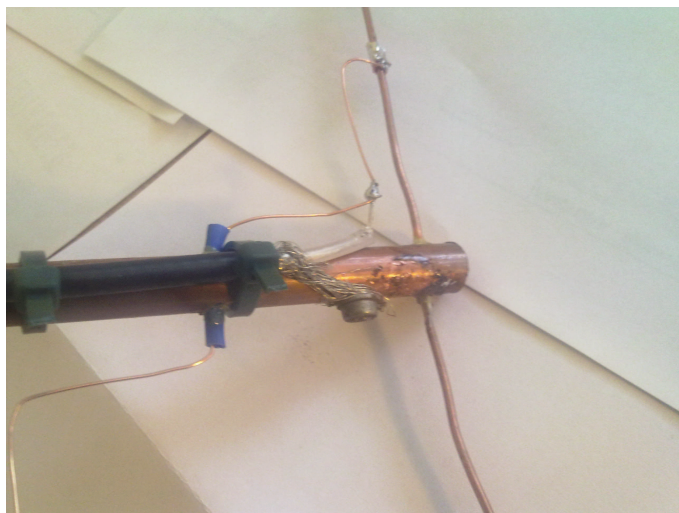


Obrázek 5.3: Fázovací vedení

Dále je třeba připojit koaxiální kabel. Kabel je veden podél ráhna na vnější straně. První věc, co je nutná, je odizolovat vnější plášť kabelu asi ve vzdálenosti 4 cm a potom vnitřní izolaci asi ve vzdálenosti 1 až 2 cm, záleží od vzdálenosti mezi fázovacím vedením a ráhnem. Kabel je k ráhnu připevněn plastovými svorkami. Vodivá cívka v koaxiálním kabelu je připájená k fázovému vedení a stínění zašroubované do ráhna. (obr. 5.4, 5.5)



Obrázek 5.4: Kabel připevněný na ráhnu



Obrázek 5.5: Přišroubované stínění

## 5.2 Ověření návrhu měřením

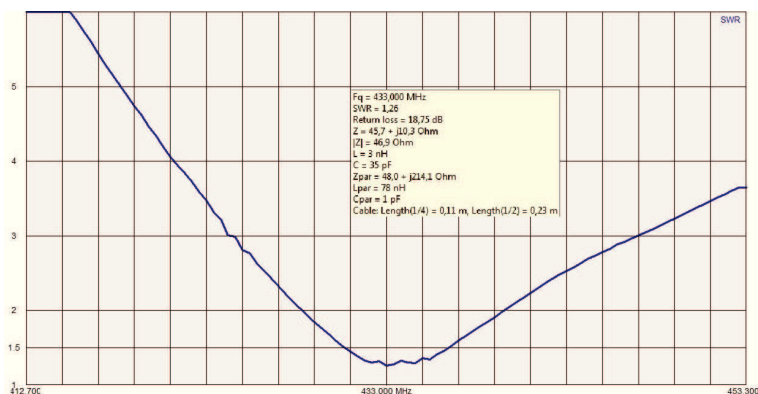
Po sestrojení antény přichází na řadu ověření návrhu měření. K ověření správnosti návrhu a konstrukce je použit antenní analyzátor "Rig Expert Antenna Analyzer AA-520", který je k dispozici v laboratoři rádiových sítí na VŠB-TUO, katedře telekomunikační techniky. Je to výkonný antenní analyzátor, určený pro testování, kontrolování nebo ladění antén a napájecích vedení v rozsahu 1 - 520 MHz. Hlavní funkce tohoto analyzátoru jsou bezpochyby grafické zobrazení PSV a impedance, který výrazně snižuje čas k čas potřebný k nastavení antény (obr..5).



Obrázek 5.6: HB9CV připojena do AA-520

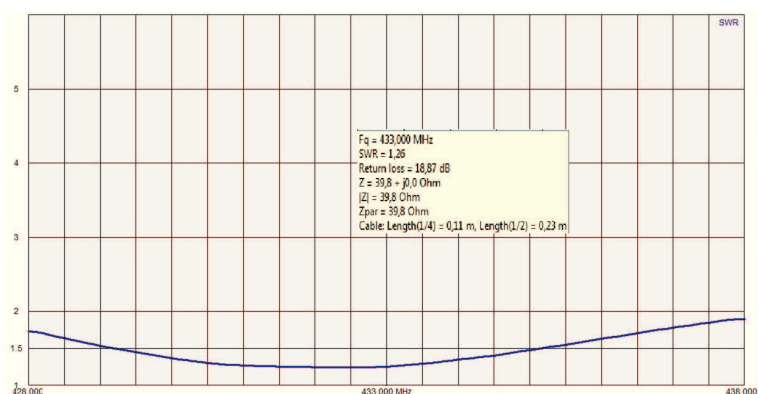


Anténa je zapojená do analyzáru a následně je spuštěno měření ČSV při rozsahu 20 MHz. První pokus vyšel PSV rovný 2. Tato hodnota odpovídá 89% vyzařeného výkonu. Po zavěšení na provázku se hodnota ČSV mění na 1.26. Hodnota 1.26 se blíží 99% vyzařeného výkonu. Na obrázku si je možné všimnout poklesu u 433 MHz (obr. 2).



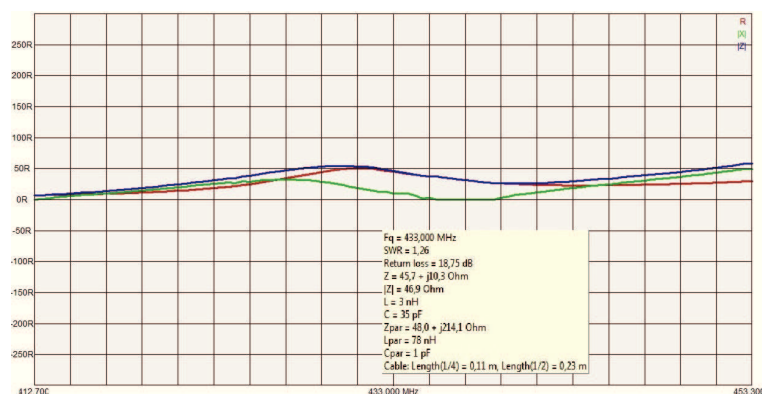
Obrázek 5.7: Závislost ČSV na frekvenci(20 MHz)

Další obrázek znázorňuje ČSV v rozsahu 5 MHz. Tedy od 428 do 438 MHz. Zde je vidět, že anténa v pásmu od 430 do 438 MHz má ČSV od 1.5 do 2, kde v 433 MHz je to 1.26 (obr. 3).



Obrázek 5.8: Závislost ČSV na frekvenci(2,5 MHz)

Graf (obr. 4) zobrazuje průběh reálné složky impedance  $R$  (rezistance, červená) a imaginární složky  $X$  (reaktance, zelená) v závislosti na kmitočtu. Složka  $R$  je vykreslena plnou čarou, složka  $X$  tečkovanou. Na tomto grafu kladná hodnota  $X$  představuje induktivní zátěž, záporná hodnota  $X$  reprezentuje kapacitní zátěž (obr. 4).



Obrázek 5.9: R,X graf (sériový)

### 5.3 Vyhodnocení naměřených výsledků

Jak již bylo popsáno na začátku této práce, když je ČSV roven 1, je vyzářen celý výkon přenesený na anténu. Pokud je ČSV větší než 1 z důvodu neupravené impedance antény, vzniká odražená vlna, která se do vysílače zpět vrací. Při měření ČSV je patrné, že čím je k anténě blíž člověk, ČSV se mnohonásobně zhoršuje. V simulaci v programu MMANA jsem měl ČSV 1.49, což znamená, že je někde chyba ve výpočtu, nebo je špatně nakreslná.  $R+X$  vyšlo jak v MMANě tak i v měření poměrně podobně.  $R$  se pohybuje kolem  $50\ \Omega$  a  $X$  kolem 0 až  $10\ \Omega$

## 6 Závěr

V této práci jsem teoreticky rozebral, co je to anténa, její hlavní charakteristické vlastnosti a jak funguje, aby bylo možné pochopit funkci antény HB9CV. V teoretické části jsem popsal vlastnosti antény HB9CV její výhody a nevýhody a další poznatky.. V praktické části jsem názorně předvedl jak probíhá návrh v simulačním programu, konstrukce a odměření správnosti této antény. Má anténa byla sestrojena na 433 MHz (VKV pásmo) a byla také v rozmezí VKV pásma zkoušená. Z grafů měření antény je patrné, že ČSV je velmi dobré (1.26 - 2), což je u antén základní pravidlo.

Anténa HB9CV je vhodná směrová anténa pro každého amatéra, hlavně pro pásmo 20,15 a 10 m, kde stavba antény je velice složitá. Zmiňoval jsem, že u této antény jsou malé náklady ve vztahu k odevzdanému výkonu tzn., že je rovnocenná optimálně naladěné tříprvkové yagi s velkou vzdáleností prvků nebo čtyřprvkové s prvky blízko sebe. Co může být problém, hlavně u začátečníka, že při stavbě antény na větších kmitočtech hrozí nepřesnosti z hlediska rozměrů. Tento jev, způsobený třeba milimetrovým prodloužením nebo zkrácením reflektoru, direktoru, ráhna nebo fázovacího vedení, způsobí vysoké ČSV. Dále pak zvolit správnou konstrukci této antény je velice důležité. Já osobně jsem sestrojil 3 antény, než jsem přišel na tu nejlepší (pro mě) konstrukci. I přesto o této anténě slyšíme mnoho chvály, a mnoho uživatelů, kteří přišli s touto anténou do styku, si ji vychvaluje. Zjistil jsem mnoho informací o této anténě a doufám, že tato sestrojená anténa poslouží k výuce v předmětu Radiokomunikační Technika pro bezlicenční pásmo.

Michal Fryz

## 7 Reference

- [1] MATUSZCZYK, Jacek, *Antény prakticky*. Marek Michálek. Praha 10, nakladatelství BEN - technická literatura, 2002 ISBN 80-7300-084-9
- [2] SMĚROVÁ ANTÉNA HB9CV[online]; *Překlad instrukční příručky Rudolfa Baumgartnera HB9CV „Die HB9CV Richtstrahlantenne“, vydané DL1CU, Stuttgart 1, Box 585..* [cit. 1.4.2012].  
[http://www.ok2kkw.com/hb9cv/hb9cv\\_1969.htm](http://www.ok2kkw.com/hb9cv/hb9cv_1969.htm)
- [3] PROCHÁZKA, Miroslav, *Antény - Encyklopedická příručka*. Praha 2005, nakladatelství BEN - technická literatura, 2002 ISBN 80-7300-166-7
- [4] ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN[online]; *ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN, Projekt MMANAGAL, Dušan Müller a Lubomír Ivánek*. [cit. 15.4.2012].  
[http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/fei/sireni\\_vln/projekty/](http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/fei/sireni_vln/projekty/)

### Seznam příloh

Příloha 1 - Rozměry antény

Příloha 2 - Závislost ČSV na frekvenci(20 MHz)

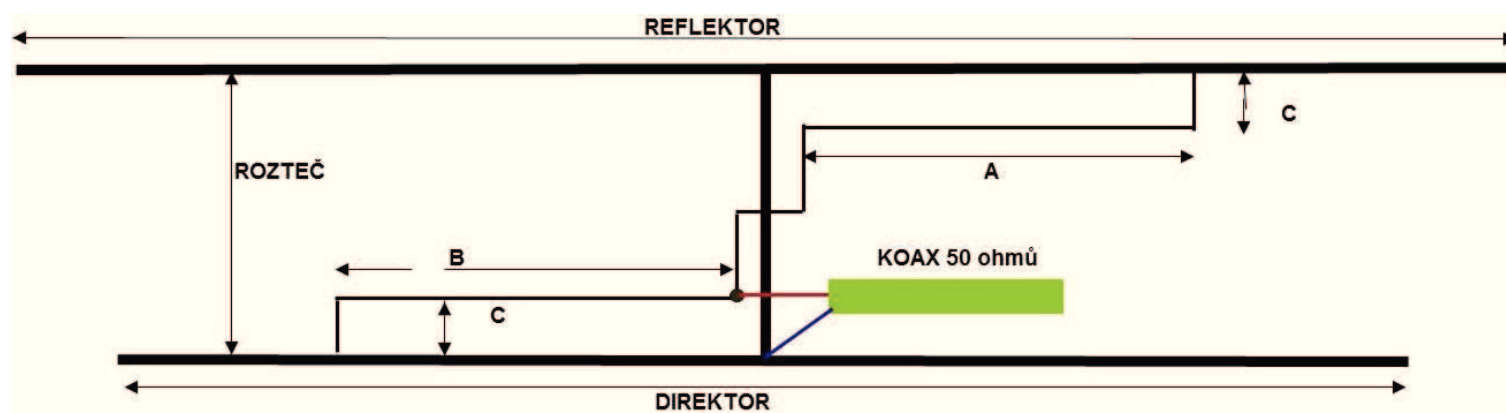
Příloha 3 - Závislost ČSV na frekvenci(2,5 MHz)

Příloha 4 - R,X graf (sériový)

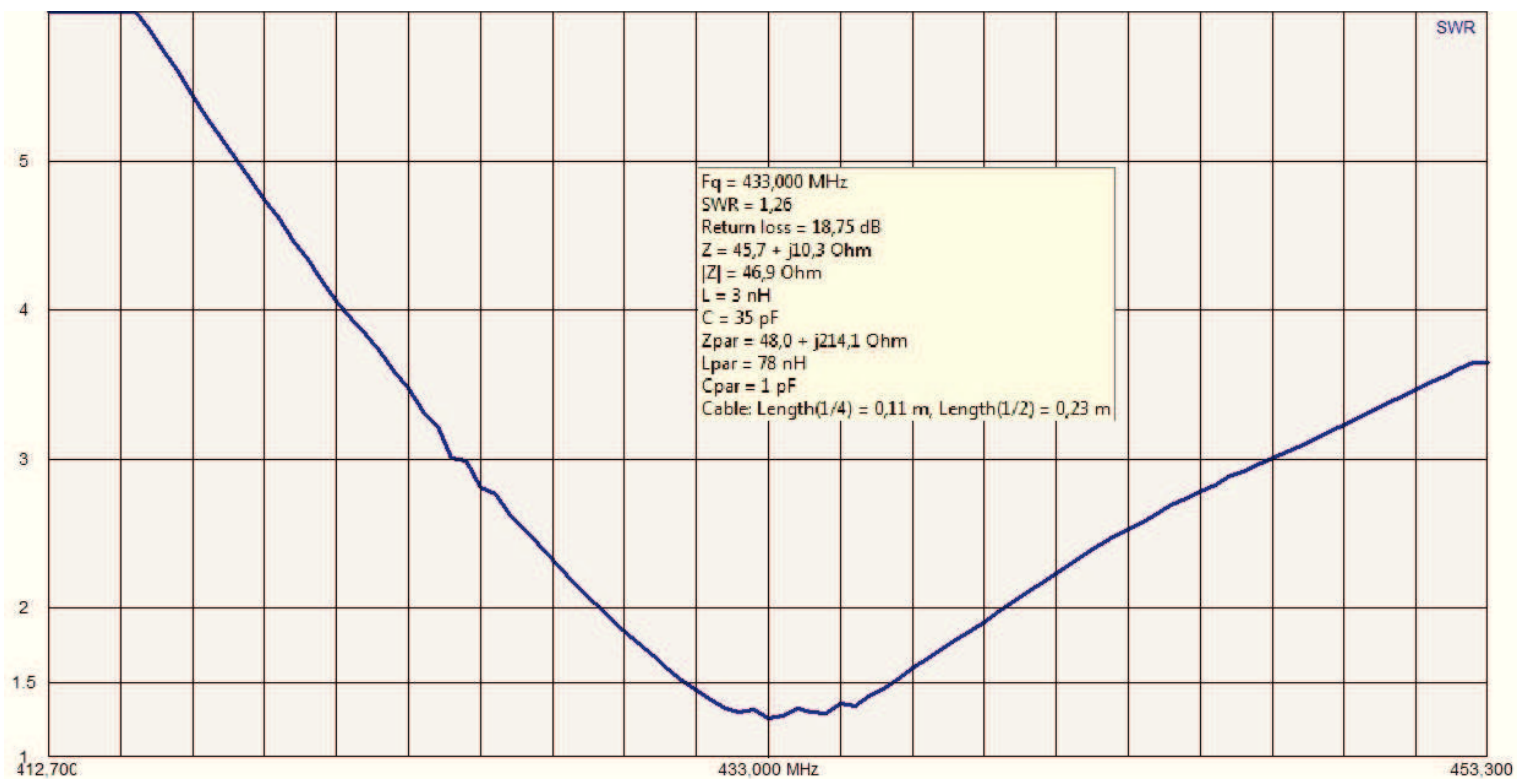
Příloha 5 - HB9CV připojena do AA-520

Příloha 6 - SWR v závislosti na kmitočtu

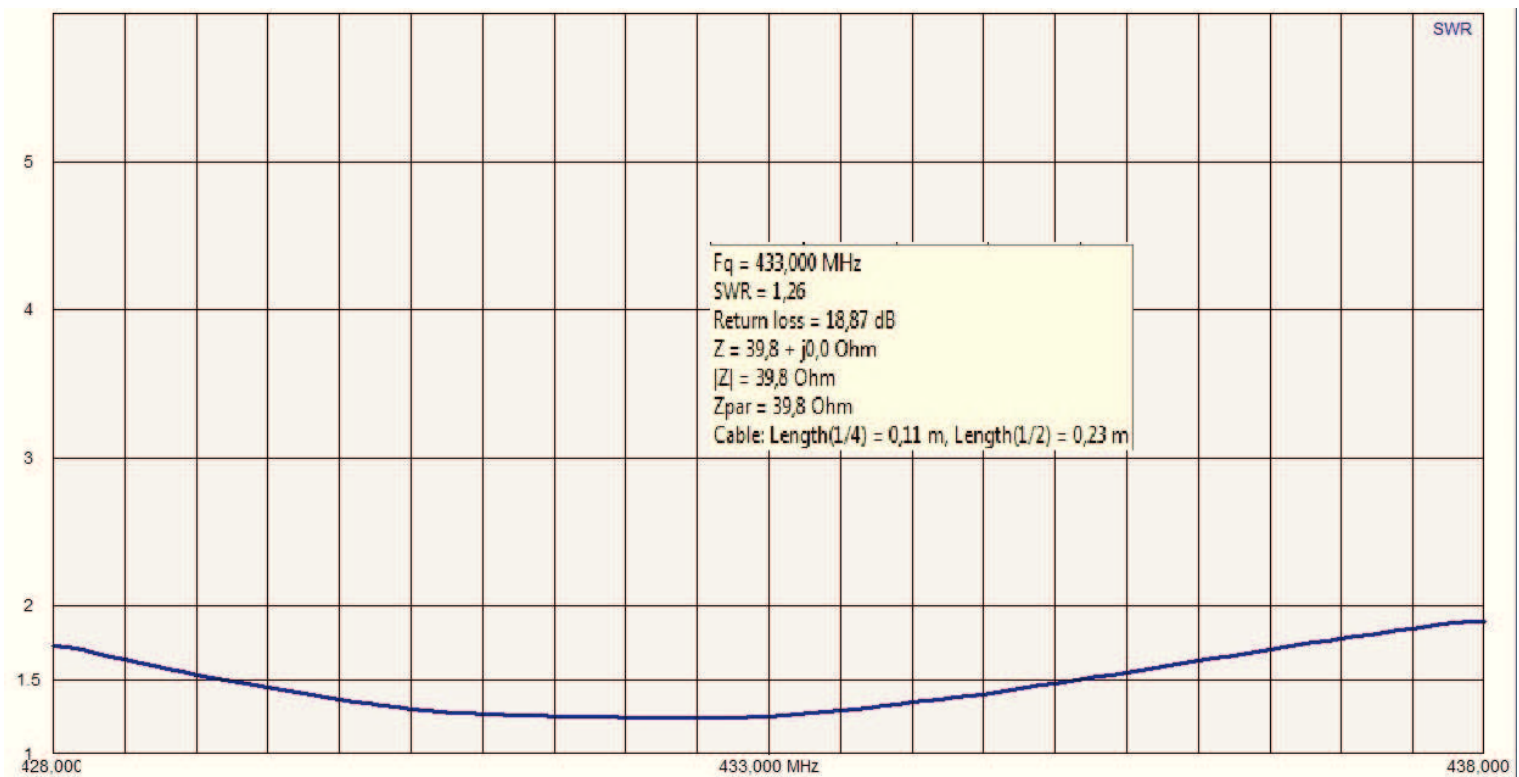
Příloha 7 - R+X v závislosti na kmitočtu



Obrázek .1: Příloha 1

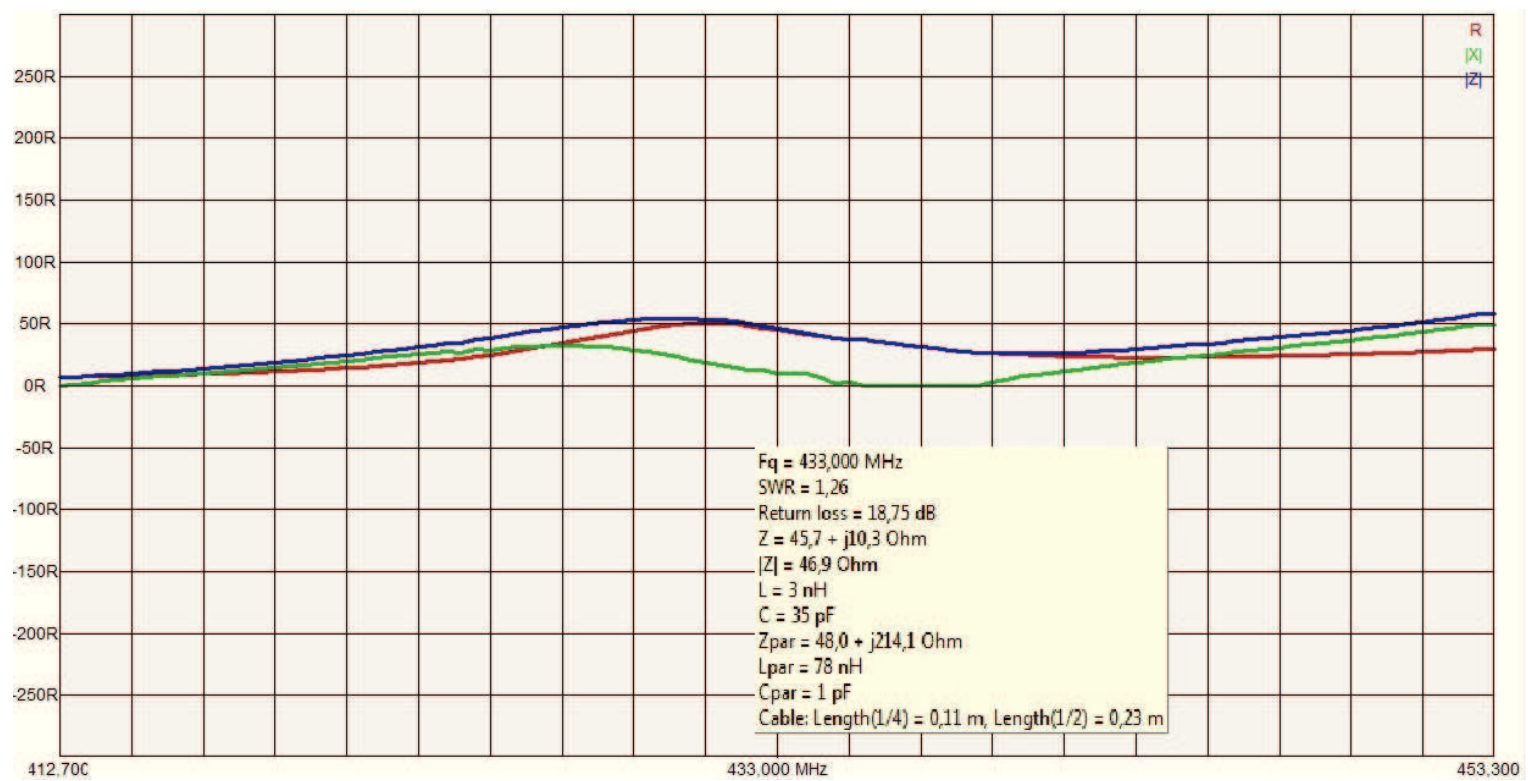


Obrázek .2: Příloha 2

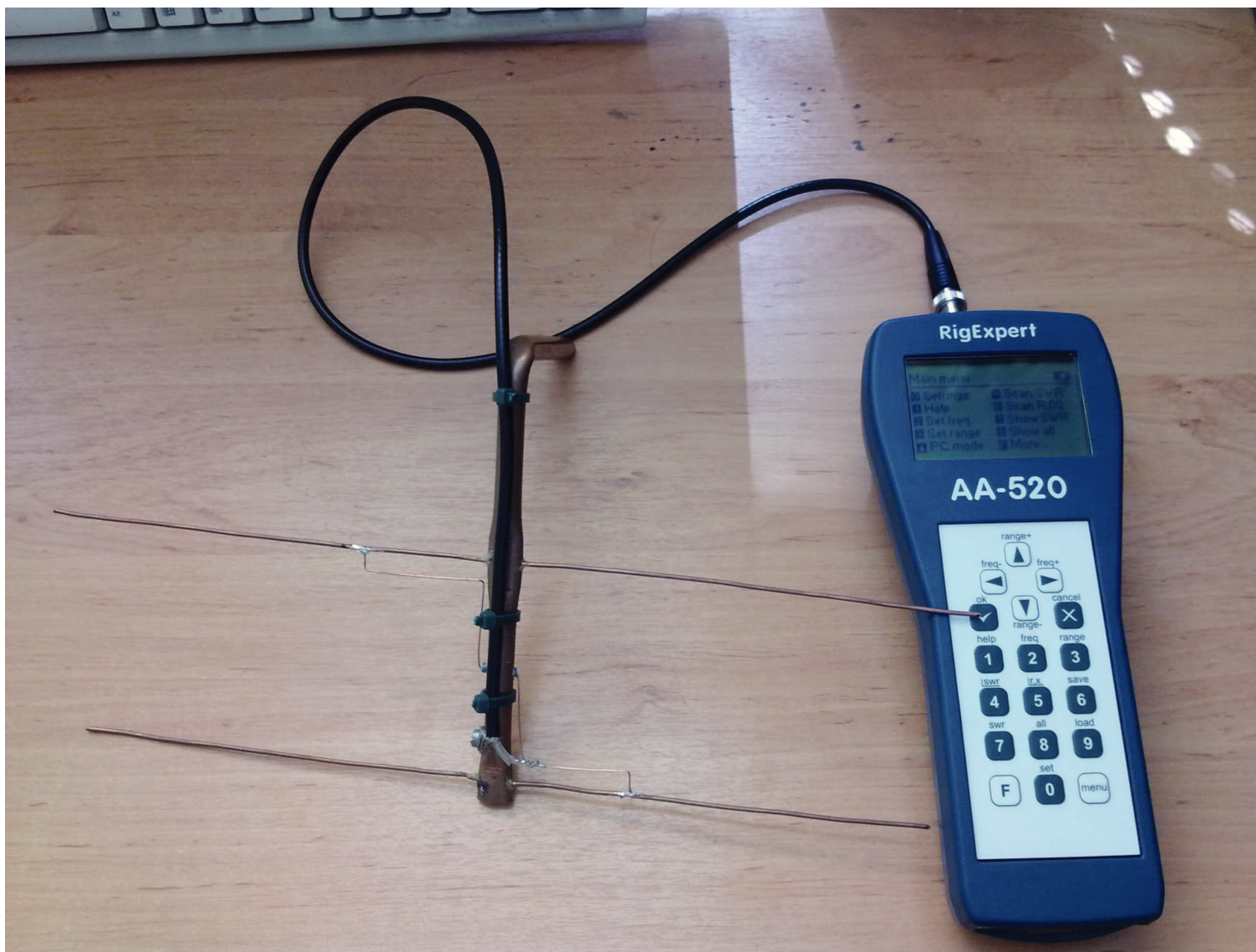


Obrázek .3: Příloha 3

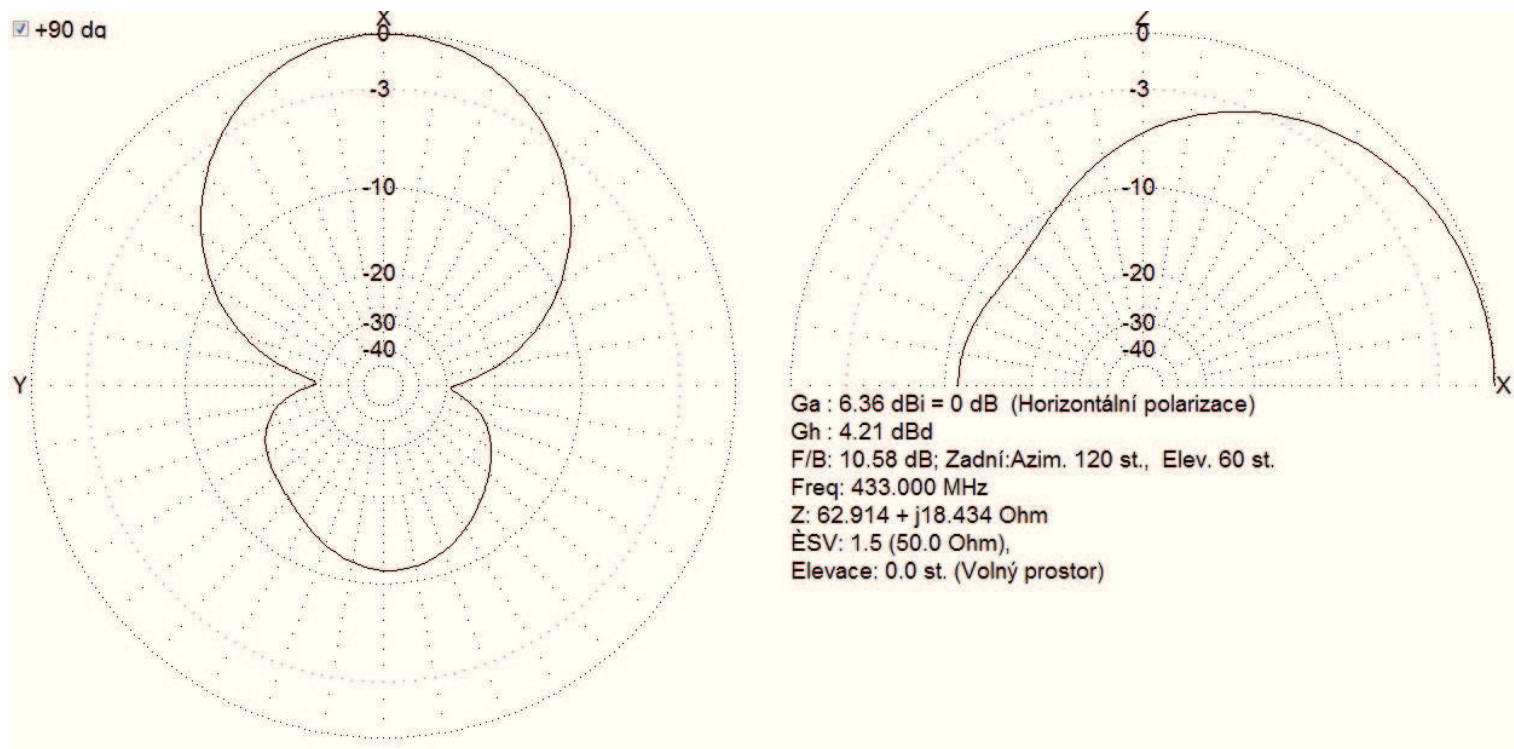




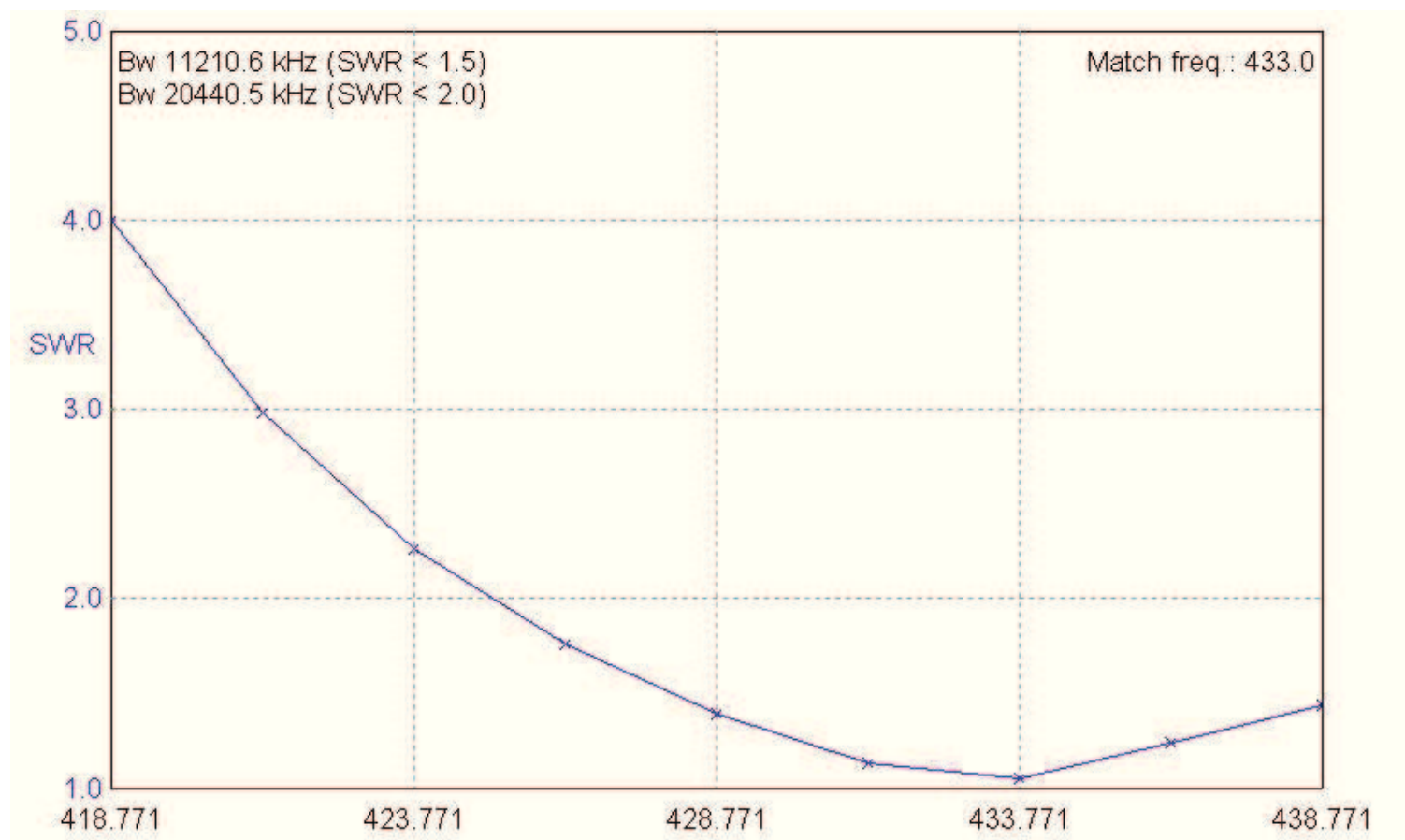
Obrázek .4: Příloha 4



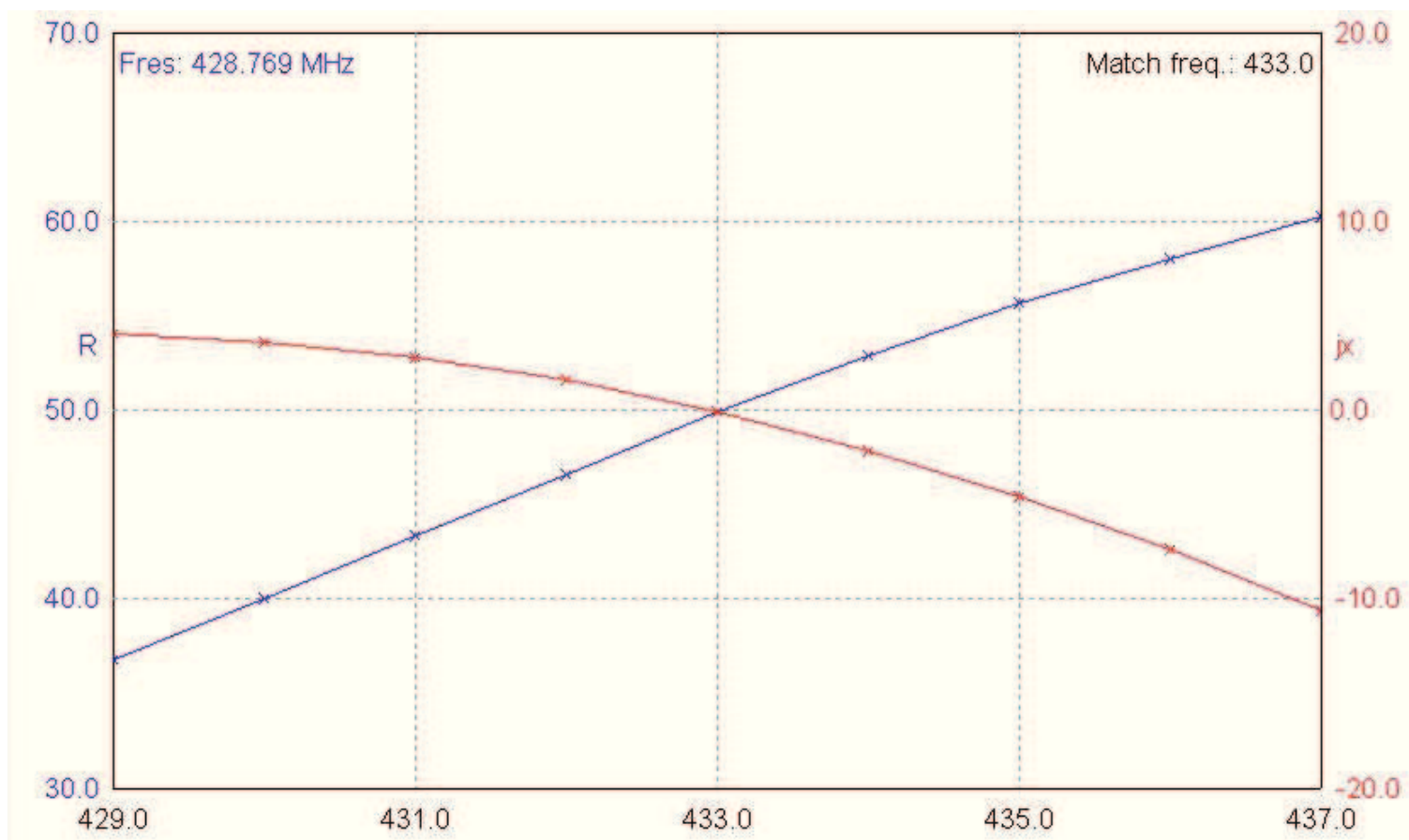
Obrázek .5: Příloha 5



Obrázek .6: Směrová a vyzařovací charakteristika antény HB9CV



Obrázek .7: SWR v závislosti na kmitočtu



Obrázek .8: R+X v závislosti na kmitočtu